

杭州西湖营养化程度变化及防治对策分析

陈 奕, 许有鹏

(南京大学地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210093)

摘要 引用杭州西湖 2002 年各月和 2005 年 5 月至 2006 年 3 月两个时间段的 Chla、TP、TN 和 COD_{Mn} 的质量浓度资料, 采用营养状态指数法评价杭州西湖营养化程度。通过分析两个时间段西湖营养化程度的变化情况, 说明西湖的营养化程度有明显的下降。同时, 两个时间段的综合营养状态指数变化曲线都反映出西湖的营养化程度在 9 月达到最大, 分别是 69.85 和 58.59; 而 1 月的综合营养状态指数分别是 50.76 和 47.81, 为两个时间段上的最小值。与其他年份的西湖营养化程度进行比较, 1988 年的综合营养指数数值为 66.70, 随后数值逐渐降低, 到了 2005 年 5 月至 2006 年 3 月这一时间段时, 其均值为 54.34, 这反映出西湖的营养化程度整体在减轻。最后, 结合西湖营养化程度的变化情况, 对改善西湖现状、防治西湖营养化问题的对策进行分析, 从而为科学决策和行政管理提供参考。

关键词 杭州西湖; 营养化程度; 营养状态指数法

中图分类号 X524 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2008)S1-0013-03

杭州西湖是一个浅水湖, 湖面总面积 6.5 km^2 , 平均水深 2.27 m, 是国内外知名的旅游景区。由于西湖面积小, 换水周期慢, 再加上杭州经济的快速发展, 大量营养物质聚积在湖中, 导致总氮和总磷含量大幅增长, 容易导致藻类的大量繁殖, 使西湖成为中国典型的营养型湖泊。由于湖泊的富营养化会导致湖水的水质变差, 湖泊的透明度下降, 严重时会引起湖水发黑发臭, 对作为国内外知名旅游地的西湖, 则还会影响形象, 因此研究西湖富营养化的变化趋势, 分析改善西湖现状、解决西湖富营养化问题的相关措施是必要的。

1 富营养化评价方法

营养状态指数法(TSI_{lm}), 即在卡尔森指数的基础上将叶绿素 a (Chla) 作为基本参数建立基本的评价方程式的一种方法^[1]。该方法的优点是克服了单因子评价富营养化的片面性, 通过综合各项参数, 将单一变量的简易性与多变量综合判断的准确性相结合, 同时更实际的研究藻类等浮游植物在评价中所占的权重。该方法的综合营养状态指数公式为:

$$I_{\text{TL}}(\Sigma) = \sum_{j=1}^m W_j \cdot I_{\text{TL}}(i)$$

式中: $I_{\text{TL}}(\Sigma)$ 为综合营养状态指数; $I_{\text{TL}}(j)$ 为第 j 种参

数的营养状态指数; W_j 为第 j 种参数相关权重。

以 Chla 作为基准参数, 则第 j 种参数的归一化相关权重计算公式为:

$$\widetilde{W}_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2}$$

式中: r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 Chla 的相关系数; m 为评价参数的个数。

各营养状态指数计算式^[2]:

$$I_{\text{TL}}(\text{Chla}) = 10(2.500 + 1.086 \ln(\text{Chla}))$$

$$I_{\text{TL}}(\text{TP}) = 10(9.436 + 1.624 \ln(\text{TP}))$$

$$I_{\text{TL}}(\text{TN}) = 10(5.453 + 1.694 \ln(\text{TN}))$$

$$I_{\text{TL}}(\text{COD}) = 10(0.109 + 2.661 \ln(\text{COD}))$$

另外, 采用 0~100 的一系列连续数字对营养状态进行分级: 0~30 为贫营养, 30~50 为中度营养, 50~60 为轻度富营养, 60~70 为中度富营养, 70~100 为重度富营养。数值越高, 其营养程度越重。

2 西湖富营养化程度变化

2.1 确定指标和方法

湖泊富营养化评价, 就是通过与湖泊营养状态有关的一系列指标及指标间的相互关系, 对湖泊的营养状态做出准确的判断。这一系列指标包括

Chla、TP、TN、COD、BOD₅、NO₃-N、NO₂-N、NH₃-N、PO₄-P、TOC、Py、Pg、SD、DO 共 14 项 ,但是各个指标之间都有内在的相关性 ,所以在评价时一般不全部考虑 14 项内容 ,而是考虑其中几项。根据获得的资料数据以及各指标之间的相关联系 ,选择 Chla、TP、TN 和 COD_{Mn} 等 4 项指标。

2.2 西湖富营养化程度月变化分析

根据营养状态指数法的数学模型 ,Chla 被作为基本参数 ,因此在应用该方法进行评价时首先要在 2002 年各月和 2005 年 5 月至 2006 年 3 月两个时间段的水质数据中分析 Chla 与其他营养化指标之间的相关性 ,结果见表 1。营养状态指数计算结果见表 2。

表 1 Chla 与 TP、TN、COD_{Mn}质量浓度之间的相关性

时间	$\rho(\text{Chla})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
2002 年	1	0.607*	-0.431	0.634*
2005-05~2006-03	1	0.594	-0.907**	0.905*

* 表示显著性水平为 0.05 上相关性明显 ;** 表示显著性水平为 0.01 上相关性明显。

表 2 两个时期西湖综合营养状态指数

时间	$I_{\text{TN}}(\Sigma)$	营养化程度	时间	$I_{\text{TN}}(\Sigma)$	营养化程度
2002-01	50.76	轻度富营养	2005-05	57.18	轻度富营养
2002-02	54.54	轻度富营养	2005-06	54.89	轻度富营养
2002-03	56.87	轻度富营养	2005-07	57.26	轻度富营养
2002-04	56.95	轻度富营养	2005-08	56.45	轻度富营养
2002-05	57.49	轻度富营养	2005-09	58.59	轻度富营养
2002-06	57.85	轻度富营养	2005-10	57.23	轻度富营养
2002-07	68.31	中度富营养	2005-11	57.73	轻度富营养
2002-08	63.35	中度富营养	2005-12	52.48	轻度富营养
2002-09	69.85	中度富营养	2006-01	47.81	中度营养
2002-10	66.38	中度富营养	2006-02	49.11	中度营养
2002-11	59.16	轻度富营养	2006-03	49.02	中度营养
2002-12	53.36	轻度富营养			

分析表 1、表 2 ,可以得出以下结论 :

a. 2002 年 Chla 浓度与 TP 的浓度正相关性在显著性水平为 0.05 上是明显的 ,但是在 2005 年 5 月到 2006 年 3 月这一时段上正相关的显著性水平高于 0.05 ,这表明 P 的浓度与 Chla 的浓度存在的正相关性在减弱 ;2002 年 Chla 浓度与 TN 浓度之间的负相关性不明显 ,而 2005 年 5 月到 2006 年 3 月两者存在着非常显著的负相关性。至于为什么会出现负相关性 ,可能的原因是 Chla 的浓度表征的是湖中藻类的数量 ,而藻类不是全部的利用湖中 TN 的物质者 ,所以两者的相关性不一定十分确定 ,具体的情况还需进一步研究。

b. 两时间段上综合营养状态指数数值的变化都呈现出两头小中间大的特点 ,即 9 月的数值最大 ,1 月和 12 月的数值相对较小。另外比较两个时段

上逐月的数值表明 2005 年 5 月至 2006 年 3 月的逐月综合营养状态指数数值都分别小于 2002 年的数值 ,反映出西湖营养状态明显下降。

2.3 西湖营养化程度整体变化分析

引用文献 [3-4] 中西湖水质数据来分析 Chla 与其他营养化指标之间的相关性。1988 年水质监测数据 [3] 反映自 1985 年开工的钱塘江引水一期工程以钱塘江水作为新水源后西湖的富营养化程度 ,1995 年的数据和 2003 年的数据 [4] 可以反映西湖疏浚前后水体中营养物质的变化情况 ,因此可以反映出底泥疏浚对湖泊富营养化治理的作用。经过分析 ,Chla 浓度与 TP、TN 和 COD_{Mn} 的相关系数分别为 0.75、-0.135 和 0.919 ,营养状态指数计算结果见表 3。

表 3 西湖各时期综合营养状态指数

年份	$I_{\text{TN}}(\Sigma)$	富营养化程度
1988	66.70	中度富营养
1995	67.60	中度富营养
2002	59.57	轻度富营养
2003	57.95	轻度富营养
2005.5~2006.3	54.34	轻度富营养

2.4 结果分析

西湖经过 2000 多年的自然变化过程 ,湖中的营养物质和底泥中的沉积物大量积聚 ,再加上西湖平均水深很小 ,与之进行水体交换的江河甚少 ,导致西湖的自净能力很低 ,也就容易受到外源污染物的影响。表 2 反映出 2002 年除了 7~10 月湖区营养状态为中度富营养化 ,而其余月份都处于富营养化的临界状态 ;而从 2005 年 5 月至 2006 年 3 月的数值看 ,营养状态指数波动性下降 ,到了 2006 年的 1 月整个湖区已处于中度营养状态 ,这就说明西湖的营养化程度明显降低 ,在冬季已经达到中度营养状态 ,因此湖区整个的水质明显好于 2002 年。

表 1 和表 2 说明 Chla 浓度与 COD_{Mn} 浓度之间具有明显正相关 ,这主要是劣质的水中含有大量 N、P 物质 ,因而为藻类等浮游植物的生长提供了条件。所以湖泊的水质能极大地影响湖泊中藻类的数量 ,进而影响湖泊富营养化程度。所以改善水质、严格削减污染源对于解决湖泊富营养化问题十分重要。西湖的营养状态之所以在 9 月达到最大而不是夏季 ,可能的原因是夏季日照充足 ,有利于水生植物的光合作用 ,因此湖内的溶解氧浓度不会太低。而到了 9 月 ,随着日照强度减弱 ,温度降低 ,水生植物的光合作用受到影响 ,同时外部环境条件还不足以抑制水生藻类的新陈代谢 ,所以水中氧亏值增大 ,溶解氧大幅减少 ,耗氧有机物分解最缓慢 ,COD_{Mn} 值达到最大 ;由相关性可知此时 Chla 含量最大 ,湖泊的富营养状

态最为严重。具体情况还需要进一步研究。

根据表 3 从整体变化情况看,西湖的营养化程度是逐年降低的。西湖富营养化程度减轻,水质转好的主要原因有:通过底泥疏浚和对西湖上游污染物质的清除,湖中大量营养物质得以去除,因而湖中藻类得到了有效控制;西湖西进工程的启动恢复了湖西地区部分被淤积的湖面,从而改善了西湖西侧的环境,提高了西湖对营养物质的自净能力;西湖引水工程使得西湖与钱塘江之间进行水体交换,促进了西湖水体的流动,缩短了西湖的换水周期,同时对钱塘江的治理使其水质得以改善,因而导致通过水体交换进入西湖的营养物质也在减少;杭州的城市发展在近郊而不是围湖拓地,所以没有对西湖造成很大的影响;西湖作为一个风景区因而只在湖边种植荷花等观赏性物种,而没有进行水产养殖等营利性活动,这也减少了西湖的人为干扰。

3 西湖富营养化防治对策分析

虽然西湖水质有所改善,整体的营养化程度也有所减轻,但仍为轻度富营养,因此还需采取相应的对策措施。

a. 1985 年兴建完成的西湖引水工程,以钱塘江水作为西湖的新水源,引水总量为 40 万 m³/d,促使西湖整体环境大加改善。但是,作为水源的钱塘江自身也有个别水质指标未达到Ⅲ类水体,比如 TN^[5]。因此,钱塘江与西湖之间的水交换会影响到西湖中营养物质的含量,所以对引水水质需采取措施加以改善。另外,研究表明湿地生态系统能够很好吸收附近水体中 N、P 等营养物质,可以作为水体的过滤系统^[6-7]。可在引水入西湖前采用湿地生态系统净化水质,通过种植芦苇等高等水生植物去除 N、P 等营养物质,并抑制浮游植物的生长,提高西湖自身抵抗外界干扰的免疫力,增强西湖的自净能力。

b. 由于在相关性分析中 Chla 浓度与 COD 浓度之间存在明显正相关,而污染物质进入水体是造成水体 COD 浓度增加的重要原因,因此有效控制西湖周围可能出现的污染源,减少排放到湖水中的污染物质是湖泊富营养化治理的重要内容。虽然西湖周围目前已经不存在工业污染源,但是生活和面污染源依然存在。由于西湖每年吸引大量海内外游客,西湖接纳生活污染物的量也在增加。因此,对于西

湖周边的宾馆饭店、休闲娱乐场所和村庄村民排放的污水要截污处理,对广大游客加强环境保护教育,禁止向西湖水体乱扔垃圾。

c. 通过不定期地疏浚西湖底泥,增加西湖的水深,促进大型水生植物的生长,进而抑制藻类的生长,改善湖泊的水生态环境,去除被吸附的营养物质,增强湖泊水体的上下层交换,增强水体的自净能力。

d. 每年向西湖投放大量鲫、鲢、鳙、草等鱼苗,使其自然生长,用以摄食湖水中的藻类,吸收 N、P 等营养物质,净化水质。最后不定时捕鱼,从而去除水中的 N、P 物质。

参考文献:

[1] 王明翠,刘雪芹,张建辉.湖泊富营养化评价方法及分级标准[J].中国环境监测,2002,18(5):47-49.

[2] 舒金华.我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J].环境污染与防治,1990,12(5):2-7.

[3] 韩涛,李怀恩,彭文启.基于 MATLAB 的神经网络在湖泊富营养化评价中的应用[J].水资源保护,2005,21(1):24-26.

[4] 楼威,周佳音,李共国,等.疏浚后杭州西湖富营养化评价[J].中国环境监测,2007,23(1):63-66.

[5] 孙一平,董民强,许阳.长三角区域饮用水安全-钱塘江水质现状和应对措施[J].城镇供水,2006(6):41-42.

[6] MARION L,PAILLISSON J M. A mass balance assessment of the contribution of floating-leaved macrophytes in nutrient stocks in an eutrophic macrophyte-dominated lake[J]. Aquatic Botany,2003,75:249-260.

[7] COVENEY M F,STITES D L,LOWE E F,et al. Nutrient removal from eutrophic lake water by wetland filtration[J]. Ecological Engineering,2002,19:141-159.

[8] WANG X L,LU Y L,HE G Z,et al. Exploration of relationships between phytoplankton biomass and related environmental variables using multivariate statistic analysis in a eutrophic shallow lake: A 5-year study[J]. Journal of Environmental Sciences,2007,19:920-927.

[9] HOWE R W,REGAL R R,NIEMI G J,et al. A probability-based indicator of ecological condition[J]. Ecological Indicators,2007,7:793-806.

[10] LAU S S,LANE S N. Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long-term study[J]. The Science of the Total Environment,2002,288:167-181.

(收稿日期:2008-04-08 编辑:徐娟)